

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-123987

(43)Date of publication of application : 25.04.2003

(51)Int.Cl. H05B 33/24
G02B 5/28
H05B 33/14

(21)Application number : 2001-314549

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB
INC

(22)Date of filing : 11.10.2001

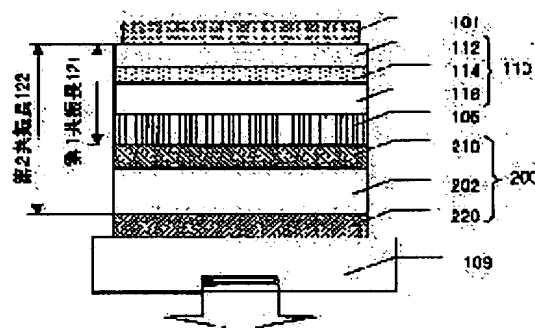
(72)Inventor : SHIGA TAKAHIRO
FUJIKAWA HISAYOSHI
TAGA YASUNORI

(54) OPTICAL RESONATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize high luminance emission of an optional additive color by an organic EL element or the like.

SOLUTION: This optical resonator (resonance organic EL element) comprises an organic light emitting layer or the like provided between a total reflection mirror 101 and a half mirror. The half mirror comprises at least a first half mirror layer 210 for selectively reflecting a first wavelength λ_1 and a second half mirror layer 220 for selectively reflecting a second wavelength λ_2 , and the first and second half mirror layers 210 and 220 are arranged apart different optical lengths from the total reflection mirror 101. A first resonance part is formed of the total reflection mirror 101 and the first half mirror layer 210, and a second resonance part is formed of the total reflection mirror 101 and the second half mirror layer 220. A basic wavelength light reinforced by each resonance part is added in color and emitted.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Relevance: The following description is disclosed in paragraphs marked by box on Page (2) and a paragraph [0034] on page (5).

5

BOX

[Scope of Claim for Patent]

[Claim 1] An optical resonator including at least a luminous layer between a total reflection mirror and a half mirror, characterized in the half mirror includes a first half mirror for selectively reflecting a first wavelength and a second half mirror for selectively reflecting a second wavelength that is different from the first wavelength, wherein the first and second half mirrors are respectively located different optical lengths away from the total reflection mirror, wherein the total reflection mirror and the first half mirror which are located a first optical length away from each other form a first resonant portion, wherein the total reflection mirror and the second half mirror which are located a second optical length away from each other form a second resonant portion, and wherein the first and second resonant portions respectively resonate different fundamental wavelengths.

[Claim 2] An optical resonator according to claim 1, wherein light of resultant wavelength from the fundamental wavelengths that are resonated by the first and second resonant portions is emitted from the optical resonator.

[Claim 3] An optical resonator including at least a luminous layer between a

total reflection mirror and a half mirror, characterized in that the total reflection mirror reflects a wave range including two or more of wavelengths λ_i ($i = 1, 2, \dots, k$), wherein the half mirror includes a plurality of half mirror layers each of which selectively reflects light of a corresponding wavelength out of the wavelengths λ_i , wherein, where " N_i " is a natural number and " Φ " and " θ_i " respectively denote phase lags (the unit is radian) of rights reflected by the total reflection mirror and the plurality of half mirrors, the plurality of half mirror layers are respectively located so that optical lengths between the total reflection mirror and the plurality of half mirror layers satisfy " $(2\pi N_i - \Phi - \theta_i) \lambda_i / 4\pi$ " multiplied by 0.9 to 1.1, thereby providing a plurality of resonant portions, each reflecting the corresponding wavelength out of the wavelengths λ_i ($i = 1, 2, \dots, k$) as a fundamental wavelength, with a result that light of a resultant wavelength therefrom is emitted from the optical resonator.

[Claim 4] An optical resonator according to any one of claims 1 to 3, further comprising an organic electroluminescence element that includes the luminous layer containing an organic electroluminescence material, a transparent electrode that is formed between the luminous layer and the half mirror or that a part of the half serves as mirror, and a metal electrode that a transparent electrode formed between the luminous layer and the total reflection mirror or the total reflection mirror serves as.

[Claim 5] An optical resonator according to any one of claims 1 to 3, further comprising an organic electroluminescence element that includes the luminous layer containing an organic electroluminescence material, a first transparent electrode that is formed between the luminous layer and the half mirror, and a second transparent

electrode that is formed between the luminous layer and the total reflection mirror, wherein the total reflection mirror is located on a surface of the second transparent electrode on a non-luminous layer side and includes a metal layer having high reflectance or a dielectric multilayer mirror layer.

5 [Claim 6] An optical resonator according to any one of claims 1 to 5, wherein each of the half mirror layers is formed by a dielectric multilayer film in which two or more of dielectrics of at least two types whose refractive indexes are different from each other are alternately laminated so that optical thickness thereof corresponds to " $\lambda / 4$ " with respect to a target reflection wavelength λ .

10 [Claim 7] An optical resonator according to claim 6, wherein at least one of the dielectric multilayer films is formed by the transparent electrode or an organic layer.

[Claim 8] An optical resonator according to any one of claims 1 to 6, wherein each of the half mirror layers is formed so that a single dielectric layer whose optical thickness satisfies " $(2N - 1) \lambda / 4$ " multiplied by 0.9 to 1.1 with respect to a target reflection wavelength λ has a refractive index that is larger or smaller than that of a layer or a substrate located above and below the dielectric layer, or ambient atmosphere (it is noted that "N" is a natural number.).

15

[Claim 9] An optical resonator according to any one of claims 1 to 6, wherein each of the half mirror layers is formed so that a single dielectric layer whose optical thickness satisfies " $N \lambda / 2$ " multiplied by 0.9 to 1.1 with respect to a target reflection wavelength λ has a refractive index that is larger than that of one of a layer or a substrate located above and below the dielectric layer and ambient atmosphere and

20

smaller than that of the other (it is noted that "N" is a natural number.).

[Claim 10] An optical resonator according to any one of claims 8 and 9, wherein one of two electrodes for driving the luminous layer is a transparent electrode that serves as at least a part of the plurality of half mirror layers.

5 [Claim 11] An optical resonator according to any one of claims 1 to 10, wherein the luminous layer is formed of a light-resonating type organic electroluminescence element containing an organic electroluminescence material, wherein it is set so that a first fundamental wavelength λ_1 for the first resonant portion ranges from 450nm to 500nm and a second fundamental wavelength λ_2 for the second resonant portion
10 ranges from 550nm to 600nm, thereby emitting white light from the optical resonator.

[0034] Furthermore, the number of resonant portions is not two and may be increased. For example, three or more of resonant portions having different desired fundamental wavelengths are similarly integrated, so that a spectrum having three or
15 more of resonance peaks is obtained. For the entire light-resonating type organic EL element, colors including three or more of colors can be emitted. The number of resonant portions is achieved by providing a half mirror for selectively reflecting a target wavelength, which is located an optical length corresponding to an enhancement target wavelength away from a total reflection mirror 101. The half mirror layer can be
20 located a desired optical length away from the total reflection mirror 101 by adding a filler layer 202 or adjusting the thickness thereof.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-123987
(P2003-123987A)

(43) 公開日 平成15年4月25日 (2003. 4. 25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース (参考)
H 0 5 B 33/24		H 0 5 B 33/24	2 H 0 4 8
G 0 2 B 5/28		C 0 2 B 5/28	3 K 0 0 7
H 0 5 B 33/14		H 0 5 B 33/14	A

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-314549 (P2001-314549)

(22) 出願日 平成13年10月11日 (2001. 10. 11)

(71) 出願人 000003609
株式会社豊田中央研究所
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1

(72) 発明者 志賀 孝広
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 藤川 久喜
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 100075258
弁理士 吉田 研二 (外2名)

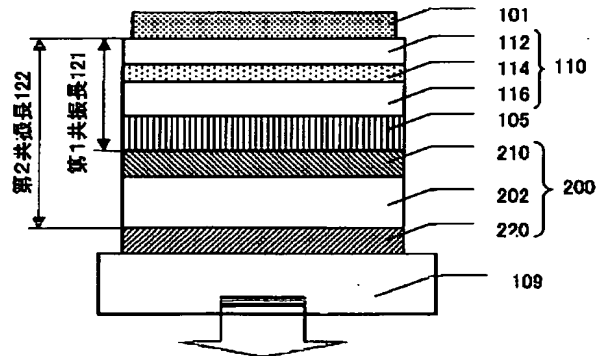
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光共振器

(57) 【要約】

【課題】 任意の加色光の高輝度発光を有機EL素子などで実現する。

【解決手段】 全反射ミラー101とハーフミラーとの間に有機発光層等を備えて構成される光共振器（共振型有機EL素子）であり、ハーフミラーは、少なくとも、第1波長 λ_1 を選択反射する第1ハーフミラー層210、第2波長 λ_2 を選択的に反射する第2ハーフミラー層220を備え、第1、第2ハーフミラー層210、220は全反射ミラー101に対し異なる光学長だけ離間配置される。全反射ミラー101と第1ハーフミラー層210で第1共振部、全反射ミラー101と第2ハーフミラー層220で第2共振部が構成され、各共振部で増強された基本波長光が加色されて射出される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 全反射ミラーとハーフミラーとの間に少なくとも発光層を備えて構成される光共振器であって、前記ハーフミラーは、少なくとも、第1波長を選択的に反射する第1ハーフミラー層と、前記第1波長と異なる第2波長を選択的に反射する第2ハーフミラー層とを備え、該第1及び第2ハーフミラー層はそれぞれ前記全反射ミラーに対し異なる光学長だけ離間して配置されて構成され、

第1光学長だけ離間配置された前記全反射ミラーと前記第1ハーフミラー層とで第1共振部が構成され、第2光学長だけ離間配置された前記全反射ミラーと前記第2ハーフミラー層とで第2共振部が構成され、

該第1及び第2共振部はそれぞれ異なる基本波長に対して共振することを特徴とする光共振器。

【請求項2】 前記各共振部の共振する前記基本波長を合成した波長の光が射出されることを特徴とする請求項1に記載の光共振器。

【請求項3】 全反射ミラーとハーフミラーとの間に少なくとも発光層を備えて構成される光共振器であって、前記全反射ミラーは、2以上の波長 λ_i ($i=1, 2, \dots, k$)を含む波長域を反射し、

前記ハーフミラーは、前記波長 λ_i のうち対応する波長の光を選択的に反射する複数のハーフミラー層を備え、 N_i を自然数、 ϕ 、 θ_i を各々、前記全反射ミラー、前記複数のハーフミラー層のそれぞれにおける反射光の位相のずれ(ラジアン単位)としたときに、

前記全反射ミラーと、前記複数のハーフミラー層との間の各光学長は、それぞれ $(2\pi N_i - \phi - \theta_i) \lambda_i / 4\pi$ の0.9~1.1倍を満たすように各層が配置されて複数の共振部がそれぞれ構成され、それぞれ前記波長 λ_i ($i=1, 2, \dots$)の対応するいずれかを基本波長として共振し、合成波長の光が射出されることを特徴とする光共振器。

【請求項4】 請求項1~請求項3のいずれか一つに記載の光共振器において、

有機電界発光材料を含む前記発光層と、前記ハーフミラーとの間に形成され又は該ハーフミラーの一部が兼用する透明電極と、前記全反射ミラーとの間に形成された透明電極又は該全反射ミラーが兼用する金属電極と、を含んで構成された有機電界発光素子を有することを特徴とする光共振器。

【請求項5】 請求項1~請求項3のいずれか一つに記載の光共振器において、

有機電界発光材料を含む前記発光層と、前記ハーフミラーとの間に形成された第1透明電極と、前記全反射ミラーとの間に形成された第2透明電極と、を含む有機電界発光素子が構成され、

前記全反射ミラーは、前記第2透明電極の非発光層側の面に配置され、高反射率の金属層または誘電体多層膜ミ

ラー層を備えて構成されていることを特徴とする光共振器。

【請求項6】 請求項1~請求項5のいずれか一つに記載の光共振器において、

前記各ハーフミラー層は、屈折率の異なる少なくとも2種類の誘電体を、その光学膜厚が、目的反射波長 λ に対し、 $\lambda/4$ になるように交互に2層以上積層した誘電体多層膜によって構成されていることを特徴とする光共振器。

【請求項7】 請求項6に記載の光共振器において、前記誘電体多層膜の内少なくとも一層が前記透明電極又は有機層によって構成されていることを特徴とする光共振器。

【請求項8】 請求項1~請求項6のいずれか一つに記載の光共振器において、

前記各ハーフミラー層は、目的反射波長 λ に対し、光学膜厚が $(2N-1)\lambda/4$ の0.9~1.1倍を満たす単一の誘電体層の屈折率が、該誘電体層の上下に位置する層又は基体又は雰囲気屈折率の両方より高いか又は低い条件を満たすように構成されていることを特徴とする光共振器(但し、 N は自然数)。

【請求項9】 請求項1~請求項6のいずれか一つに記載の光共振器において、

前記ハーフミラー層は、目的反射波長 λ に対し、光学膜厚が $N\lambda/2$ の0.9~1.1倍を満たす単一の誘電体層が、該誘電体層の上下に位置する層又は基体又は雰囲気屈折率の一方の屈折率より高く、他方より低い条件を満たすように構成されていることを特徴とする光共振器(但し、 N は自然数)。

【請求項10】 請求項8又は請求項9に記載の光共振器において、

前記発光層を駆動するための2つの電極の一方は透明電極であり、該透明電極は複数の前記ハーフミラー層の少なくとも一部として機能することを特徴とする光共振器。

【請求項11】 請求項1~請求項10のいずれか一つに記載の光共振器は、

前記発光層が有機電界発光材料を含む光共振型有機電界発光素子から構成され、

前記各共振部は、第1基本波長 λ_1 が450nm~500nm、第2基本波長 λ_2 が550nm~600nmに設定され、白色光を射出することを特徴とする光共振器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光共振器、例えば有機エレクトロルミネッセンス(EL)素子を用いた微小な光共振器に関する。

【0002】

【従来の技術】有機EL素子は、自発光性で、設計した

有機発光材料に応じた発光色で、高輝度発光を実現することが可能であり、平面ディスプレイや平面光源などへの実用化のための研究が盛んに行われている。

【0003】また、このような有機EL素子を用いてより高輝度の表示装置や光源を得る等の目的で光共振器構造を採用することが提案されている。

【0004】例えば、特開平7-320864号公報（出願人AT&Tコーポレーション）、論文A.Dodabala pur et.al., Applied Physics Letters vol.65 no.18 p.p.2308-2310（1994/6/17投稿、1994/10/31発行）には、有機EL素子に共振器構造を採用して、材料本来の発光色として実現されていない白色や紫色の発光を得るための方法が示されている。

【0005】これらの開示では、ある特定の共振長を持つ共振器において、その共振長に合致する基本周波数の光以外に、そのN倍の周波数を持つ高調波（N次モード、Nは自然数）が同時に共振を示すことを利用している。基本共振ピークの波長を λ_0 とすると、 λ_0/N の波長を持つ光も共振を起こす（上記公開公報の図7参照）。例えば、基本共振ピークを1950nmの波長に設定した共振器では、その3次モードは1950nm/3=650nmに、4次モードは1950nm/4=488nmとなる。この両波長を含むような幅広い発光スペクトルを持つ発光材料にこの共振器を適用すると、650nm、488nmの2本の共振ピークを持つ発光スペクトルが得られるという原理を利用している。そして、このように可視域に複数の共振モードが現れるように共振長を設定した共振器は、上記公開公報等においてマルチモード共振器と呼ばれ、このマルチモード共振器により白色や紫色を実現することを提案している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】例えば白色の有機EL素子は、情報表示素子やそのバックライトとして非常にニーズが高いが、白色や紫色といった色は、複数の純色を加法混色して得られる色であり、現在の所、単一の物質でこれらの発光色を示す材料は開発されていない。そのため、有機電界発光素子において単一の画素でこれら白色や紫色の発光を実現するためには、一般には青と橙など2つ以上の発光材料を積層または混合して用いている。しかし、発光輝度については、用いる材料で決まってしまう、更なる高輝度化の要求を十分に満たすには至っていない。

【0007】また、従来より提案されている通常の光共振器では、基本波長の輝度向上を図ることはできるが、共振により単色化するため、このような共振器では、有機EL素子を用いた高輝度の白色や紫色等の発光を実現することができない。また、共振器から射出される光は特定方向への強い指向性を示すが、1つの共振ピークであるから色度が視野角（観察方向）に大きく依存するという問題があった。

【0008】一方、前述の公開公報などで提案されている技術においては、マルチモード共振器を用いて複数の共振ピークを作ることにより材料本来の発光色を改変し、白色を実現している。しかし、上記技術では、基本共振ピーク、つまり共振の基本波長 λ_0 は1つであり、実現されている複数の共振ピークの波長は、ある基本波長 λ_0 に対し λ_0/N で定まる波長に限られている。従って、 λ_1 、 λ_2 という2つの波長を隣り合う共振ピークに設定したい場合には、下記式

【数1】

$$\begin{cases} \frac{\lambda_0}{N+1} = \lambda_1 \\ \frac{\lambda_0}{N} = \lambda_2 \end{cases} \quad (\text{但し、}\lambda_0 > 0, N \text{は自然数})$$

という制約付き連立方程式に解が存在することが必要条件となる。しかし、この方程式には任意の λ_1 、 λ_2 に対する一般解は存在しないため、複数の共振ピークを任意に設定することは一般にはできないという制約があった。

【0009】また、可視域に複数の共振ピークを設定しようすると、共振器の基本波長が1つであるため、必然的にNの値は3~10といった大きな値となるが、基本波長での強度に対し、より高次のモードほど強度がより弱くなるという共振器本来の性質の制約を受けてしまう。従って、高次の共振モードを使わざるを得ない従来の手法では、輝度向上の効果にも限界があった。また、合成波長の色度座標も、複数の共振ピークを任意に設定することができないため、目的とする色に近づけるには限界があった。

【0010】上記課題を解決するために、この発明では、白などの光を高輝度で得ることの可能な光共振器を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するためにこの発明は、以下のような特徴を有する。

【0012】即ち、本発明は、全反射ミラーとハーフミラーとの間に少なくとも発光層を備えて構成される光共振器であって、前記ハーフミラーは、少なくとも、第1波長を選択的に反射する第1ハーフミラー層と、前記第1波長と異なる第2波長を選択的に反射する第2ハーフミラー層とを備え、該第1及び第2ハーフミラー層はそれぞれ前記全反射ミラーに対し異なる光学長だけ離間して配置されて構成され、第1光学長だけ離間配置された前記全反射ミラーと前記第1ハーフミラー層とで第1共振部が構成され、第2光学長だけ離間配置された前記全反射ミラーと前記第2ハーフミラー層とで第2共振部が構成され、該第1及び第2共振部はそれぞれ異なる基本波長に対して共振する。

【0013】本発明では、上記光共振器は、前記各共振

部の共振する前記基本波長を合成した波長の光を射出することができる。

【0014】本発明の他の態様は、全反射ミラーとハーフミラーとの間に少なくとも発光層を備えて構成される光共振器であって、前記全反射ミラーは、2以上の波長 λ_i ($i=1, 2, \dots, k$)を含む波長域を反射し、前記ハーフミラーは、前記波長 λ_i のうち対応する波長の光を選択的に反射する複数のハーフミラー層を備え、 N_i を自然数、 ϕ 、 θ_i を各々、前記全反射ミラー、前記複数のハーフミラー層のそれぞれにおける反射光の位相のずれ(ラジアン単位)としたときに、前記全反射ミラーと、前記複数のハーフミラー層との間の各光学長は、それぞれ $(2\pi N_i - \phi - \theta_i) \lambda_i / 4\pi$ の0.9~1.1倍を満たすように各層が配置されて複数の共振部がそれぞれ構成され、それぞれ前記波長 λ_i ($i=1, 2, \dots$)の対応するいずれかを基本波長として共振し、合成波長の光が射出されるものである。

【0015】本発明の他の態様において、上記光共振器では、有機電界発光材料を含む前記発光層と、前記ハーフミラーとの間に形成され又は該ハーフミラーの一部が兼用する透明電極と、前記全反射ミラーとの間に形成された透明電極又は該全反射ミラーが兼用する金属電極と、を含んで構成された有機電界発光素子を有する。

【0016】ある波長 λ に注目し、その波長を反射する全反射ミラー層とハーフミラー層を、光学距離で $(2\pi N - \phi - \theta) \lambda / 4\pi$ 離れて対向するよう配置し、その間の特定の位置、例えばMを自然数として、全反射ミラーから光学長で $(2M-1) \lambda / 4\pi$ 離れた位置、つまりは共振器内に存在する定在波の腹の位置に光源を置くと、干渉効果により光が強め合いかつ指向性を伴って放出されるようになる。これが共振器効果である。上述のように、Nは自然数、 ϕ 、 θ は各々、全反射ミラー、ハーフミラーにおける反射光の位相のずれ(ラジアン単位)である。

【0017】本発明では、以上に説明したように、光源として少なくとも1層の発光層(例えば有機電界発光層)を採用し、複数の各共振部が、それぞれ異なる波長を基本波長として共振するように、全反射ミラーから上記のような条件を満たす光学長だけ離れて対向するようにハーフミラー層をそれぞれ配置する。さらに、それぞれ各ハーフミラー層と全反射ミラーとで規定される波長について共振器効果を示すように素子を設計する。この時、発光層は各基本波長の定在波の腹の位置付近をカバーするように配置する。これにより2つ以上の基本波長に対して共振ピークを持つ発光スペクトルが得られる。例えば、白色は青色と橙色など2つ以上の色を加法混色することにより得られる。従って、各共振部の第1基本波長 λ_1 を450nm~500nm、第2基本波長 λ_2 を550nm~600nmに設定することで、白色発光が可能で、かつ、高輝度発光が可能な光共振器、例えば光

共振型有機EL素子を実現することができる。

【0018】また、共振器効果の持つ指向性という特徴により、共振型有機EL素子とした場合に、特定の方向に指向性を持つ白色発光する有機EL素子の実現なども可能となる。

【0019】本発明の他の態様では、上記光共振器において、有機電界発光材料を含む前記発光層と、前記ハーフミラーとの間に形成された第1透明電極と、前記全反射ミラーとの間に形成された第2透明電極と、を含む有機電界発光素子が構成され、前記全反射ミラーは、前記第2透明電極の非発光層側の面に配置され、高反射率の金属層または誘電体多層膜ミラー層を備えて構成することが可能である。

【0020】本発明の他の態様では、上記光共振器において、前記各ハーフミラー層は、屈折率の異なる少なくとも2種類の誘電体を、その光学膜厚が、目的反射波長 λ に対し、 $\lambda/4$ になるように交互に2層以上積層した誘電体多層膜によって構成することが可能である。

【0021】また本発明の他の態様では、上記光共振器において、前記誘電体多層膜の内少なくとも一層が前記透明電極又は有機層によって構成することが可能である。

【0022】本発明の他の態様では、上記光共振器において、前記各ハーフミラー層は、目的反射波長 λ に対し、光学膜厚が $(2N-1) \lambda / 4$ の0.9~1.1倍を満たす単一の誘電体層の屈折率が、該誘電体層の上下に位置する層又は基体又は雰囲気屈折率の両方より高いか又は低い条件を満たすように構成できる(但し、Nは自然数)。

【0023】本発明の他の態様では、上記光共振器において、前記ハーフミラー層は、目的反射波長 λ に対し、光学膜厚が $N \lambda / 2$ の0.9~1.1倍を満たす単一の誘電体層が、該誘電体層の上下に位置する層又は基体又は雰囲気屈折率の一方の屈折率より高く、他方より低い条件を満たすように構成することができる(但し、Nは自然数)。

【0024】本発明の他の態様では、上記光共振器において、前記発光層を駆動するための2つの電極の一方は透明電極であり、該透明電極は複数の前記ハーフミラー層の少なくとも一部として機能させることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いてこの発明の好適な実施の形態(以下実施形態という)について説明する。

【0026】本発明の実施形態に係る光共振器は、任意の基本共振波長を持つ2つ以上の共振部を1つの共振器内に有する。

【0027】図1は、本発明の実施形態に係る2つの共振部が統合された共振器構造を備えた有機EL素子の構成例を示す。まず、有機EL素子の基本的構成について

説明する。有機EL素子は、陽極と陰極との間に少なくとも発光材料を含む有機層110を備えて構成されており、図1に示す例では、透明なガラスなどの基板109の上に、陽極として透明電極105が採用され、陰極としては金属電極101が採用され、有機層110は、この例では、透明電極105側から正孔輸送層116、発光層114、電子輸送層112がこの順に積層されて構成されている。なお有機層110は少なくとも発光材料を含む発光層114を備えることが必要であるが、他の層については採用する材料の機能により必ずしも必要ではないし、また更に別の機能層が設けられていてもよい。例えば、有機層110は、発光層のみの単層、発光層と正孔輸送層或いは発光層と電子輸送層の2層構造、或いは図1のように正孔輸送層116、発光層114、電子輸送層112の3層構造の他、4層、5層等の多層構造から構成することが可能である。

【0028】金属電極101は、Al、MgAgなどの金属からなり、電界発光素子に電子を注入する陰極として動作すると同時に、本実施形態においては、可視域で高い反射率を持つ全反射ミラーとしての役割も兼ねている。金属電極101と電子輸送層112との間には、電子注入障壁を下げるため、電子注入層としてLiFなど薄い層を挿入することもある。

【0029】透明電極105は、ITO (Indium Tin Oxide) などの電気伝導率の高い透明酸化物等からなり、正孔輸送層116を介して素子（有機層）に正孔を注入する。金属電極101から注入され電子輸送層112により輸送された電子と、透明電極105から注入され正孔輸送層116により輸送された正孔は、発光層114に注入されて再結合して発光材料が励起され、発光が起きる。

【0030】本実施形態では、以上のような有機EL素子の透明電極105とガラス基板との間にハーフミラー200として複数のハーフミラー層（210、220）と、ハーフミラー層と金属電極が兼用する全反射ミラーとの間の膜厚（光学長）調整のためのフィラー層202が設けられている。

【0031】第1ハーフミラー層210は、主に波長 λ_1 の光を反射する層であり、波長 λ_1 以外において反射率が小さい選択反射層であればより望ましい。ここで、第1共振長121の光学長を $(2\pi N_1 - \phi - \theta_1) \lambda_1 / 4\pi$ の0.9~1.1倍に設定することにより、波長 λ_1 の光が、全反射ミラー101、有機層110、透明電極105及び第1ハーフミラー層210によって構成される第1共振部で共振し増強される。但し、 N_1 は自然数、 ϕ は全反射ミラーである金属電極101で反射された光の位相のずれ、 θ_1 は第1ハーフミラー層210で反射された光の位相のずれである。なお、第1共振部において、有機層及び透明電極105は、波長 λ_1 を十分透過して、全反射ミラー101と、第1ハーフミラー

層210とを上記第1共振長121だけ離間させる機能を備えている。

【0032】同様に、第2ハーフミラー層220は、主に波長 λ_2 の光を反射する層であり、波長 λ_2 以外において反射率が小さい選択反射層であればより望ましい。そして、第2共振長122の光学長を $(2\pi N_2 - \phi - \theta_2) \lambda_2 / 4\pi$ の0.9~1.1倍に設定することで、全反射ミラー101、有機層110、透明電極105、第1ハーフミラー層210、フィラー層202及び第2ハーフミラー層220によって構成される第2共振部で、波長 λ_2 が共振し増強される。但し、 N_2 は自然数、 θ_2 は第2ハーフミラー層220で反射された光の位相のずれである。なお位相のずれは全てラジアン単位である。なお、第2共振部において、有機層110、透明電極105、第1ハーフミラー層210、フィラー層202は、波長 λ_2 を十分透過し、全反射ミラー101と、第2ハーフミラー層210とを上記第2共振長122だけ離間させる機能を備えている。

【0033】以上のように、本実施形態では、有機EL素子が、第1共振長121だけ離間した全反射ミラー101と第1ハーフミラー層210とで構成された第1共振部、第2共振長122だけ離間した全反射ミラー101と第2ハーフミラー層220とで構成され、第1共振部とは異なる波長を基本波長とする第2共振部を備えた共振器と基板109上の同一領域に積層形成され、光共振型有機EL素子が構成されている。このような光共振型有機EL素子では、ここでは2つの共振長（光学長）に対応した光が増強される。従って、各層の厚さを最適化して各々の共振部を構成する光学長を適切な値に設定することにより、所望の基本波長で共振ピークが得られ、白色・紫色などの共振型有機EL素子を実現できる。また、共振器効果により輝度が高く、指向性を持った発光が得られる。

【0034】さらに、共振部の数を2ではなく、更に増やし、例えばそれぞれ異なる所望の基本波長を持った3つ以上の共振部を同様に統合すれば、3つ以上の共振ピークを持つスペクトルとなり、光共振型有機EL素子全体としては、3色以上を加色した色を発光することが可能となる。共振部の数は、全反射ミラー101に対して増強目的波長に対応した光学長だけ離間し、目的波長を選択的に反射するハーフミラー層を更に設け、他の層が目的波長をある程度以上透過するという条件を満たすことで実現できる。また、フィラー層202を追加したり、その厚さを調節するなどにより、全反射ミラー101から所望の光学長だけ離間した位置にハーフミラー層を配置することが可能である。

【0035】以上説明したような本発明に係る光共振器は、従来提案されていたマルチモード共振器と異なり、2つ以上の共振ピーク（基本波長ピーク）を任意に独立に設定できるためより細かい色度調整が可能であり、ま

た、次数の低い共振モードを利用できるため輝度向上の効果も大きい。

【0036】次に、本発明に係る光共振型有機EL素子における色度ずれについて図2を参照して説明する。一般に、共振器型素子の発光スペクトルにおける共振ピークは、観測角を大きくすると短波長側へずれる。単一の共振ピークしか持たない共振器型素子では、観測角による色ずれを防ぐことは難しかった。

【0037】本発明のように、2つ以上の共振ピークがある場合でも、各々のピークは、やはり短波長側にずれる。しかしながら、これは図2に示すように色度図上では反時計回りに色度がずれることを意味している。上述のような光共振型有機EL素子を用いて青と橙の2つの共振ピークを作って実現した共振器型白色素子では、青と橙のピークは観測角が大きくなると色度図上で図2のようにどちらも反時計回りにずれる。これは即ち、いずれのピークも互いに逆方向へずれることを意味しており、結果としてずれは相殺される。このため、本発明の共振型有機EL素子では、共振器構造を採用しているにも関わらず、観測角による色度ずれの小さい白色の素子を実現できる。

【0038】次に各ハーフミラー層の構成について説明する。主に波長 λ の光を選択的に反射するハーフミラー層は、透明誘電体の単層膜、または、多層膜により構成可能である。単一の層からなるハーフミラー層の場合、その屈折率を n_0 とすると、このハーフミラー層の上下に位置する層又は基体又は雰囲気屈折率 n_u 、 n_d が、
(1) $n_u > n_0$ 、 $n_d > n_0$ 又は、 $n_u < n_0$ 、 $n_d < n_0$ の場合、即ち、屈折率 n_u 、 n_d が、いずれも、ハーフミラー層の屈折率 n_0 より大きい、小さい場合には、ハーフミラー層の光学膜厚を $(2N-1)\lambda/4$ に設定、又は(2) $n_u > n_0 > n_d$ 、又は $n_u < n_0 < n_d$ の場合、即ち、屈折率 n_u 、 n_d の一方が、ハーフミラー層の屈折率 n_0 より大きく、他方が n_0 より小さい場合には、 $N\lambda/2$ に設定する。このように設定することで、波長 λ の光を選択的に反射するハーフミラーとなる。ここで N は自然数である。この条件をみたすような誘電体層を多数積層して多層膜とすることにより、さらに反射率の高い選択反射ハーフミラーとなる。

【0039】また、ハーフミラー層としては、透明電極105の光学厚さを、前記(1)又は(2)のような条件を満たすように設定することにより、この透明電極105には、単層で、図1に示す第1ハーフミラー層210の役割を兼ねさせることも可能である。後述の実施例ではこれを採用している。このように透明電極にハーフミラー層を兼用させることにより、素子構造が単純化されて製造工程がその分減少する。また、積層数が多くなるほど上層における表面の平滑性が低下するので、平滑性低下を抑制する効果も得られる。一方で、透明電極としては、 $\lambda/4$ の厚さでは十分な電気伝導率が得られ

ず、駆動電圧が上昇して好ましくない場合もあるので、使用環境に応じて使い分けことが好ましい。もちろん、ハーフミラー層が多層膜ハーフミラーから構成される場合には、透明電極(場合によっては有機層も含め)をこの多層膜ハーフミラーのうちの少なくとも1層として使用することも可能である。

【0040】ハーフミラー層210、220及びフィルタ層202には、化学的に安定かつ成膜が容易で、可視域で透明な誘電体・酸化物・有機物が適している。公知のように、 TiO_2 、 ZnO などの高屈折率物質と、 SiO_2 などの低屈折率物質を $\lambda/4$ の光学膜厚で交互に積層した誘電体多層膜ミラーは高い選択反射性能を持つ。ハーフミラー層、フィルタ層、透明電極層、と多くの無機薄膜を積層することになるが、このとき、薄膜の残留応力が正となる物質と、負になる物質との組み合わせであれば、全体として応力をうち消し合い安定となるため、望ましい。

【0041】多くの有機EL素子では、陰極としてAlやMgAgなどの金属電極を用いているため、これに全反射ミラーとしての役割を兼ねさせることができるが、陽極として用いられている透明電極だけでなく、陰極としても透明電極を用いた構成とすることももちろん可能である。この場合は、両透明電極の素子外側に前記条件(1)又は(2)を満たすような誘電体ミラー群を設置すればよい。

【0042】さらに、陽極、陰極とも透明電極を用いた場合に、透明電極そのものが前述の選択反射層としての条件(1)又は(2)を満たすように構成することも可能である。こうした場合、どちらか一方の選択反射層については、特定の波長のみを反射する選択反射層ではなく、所望の共振波長を含む広い波長域において、高い反射率を有する反射層を採用しても良い。また、透明電極からなる陽極及び陰極の素子外側の位置に特定の波長に対し選択的に反射する選択反射層が対になるように設置することで、この選択反射層間を所定の目的増強波長(基本波長)に応じた光学長になるように設計することにより、ここに共振部を構成してもよい。

【0043】また、透明電極からなる陽極及び陰極のどちらか一方の素子外側の位置に、Al、Agなどの高反射率金属層を設けても良い。また、陽極、陰極とも金属電極とし、少なくとも一方の電極は、この電極を透過させて光を外部に取り出すことができる程度に薄い金属電極とした構成も採用可能である。また、このように光をある程度透過可能な薄い金属電極を採用した場合、この薄い金属電極層にハーフミラーとしての役割を兼させてもよい。

【0044】なお、本実施形態において、有機EL素子の発光材料は特に限定されるものではないが、複数の共振部が増強する波長領域について十分な発光強度を有することが必要であり、比較的発光波長領域の広い発光材

料を用いることが好ましい。なお、このような発光は、単一の発光材料によって達成されるものに限られず、複数の発光材料を用い、増強波長領域にそれぞれ必要な発光強度を示すようにしてもよい。

【0045】以上のような光共振型有機EL素子は、例えば、基板上に素子を複数設けたり、基板全面に共通構造として形成して、白色等の加色光の高輝度光源を得ることができる。また基板上にマトリクス状に複数配置される画素に上記光共振型有機EL素子をそれぞれ採用すれば、白色等の加色光の高輝度な有機EL表示装置を実現することができる。また、本実施形態に係る光共振器は、共振器の光源が有機EL素子に限られるものではなく、例えば無機材料を発光材料として用いた無機EL素子や、その他の発光素子も採用可能である。

【0046】

【実施例】以下、実施例として、2波長微小共振器型の白色有機電界発光素子について比較例と共に説明する。

【0047】[素子の設計および作製]図3(a)は、本発明の実施例1に係る光共振型有機EL素子(白色発光)の概略構成、図3(b)及び3(c)は、比較例1、2の有機EL素子(非共振型)の構造を示す。これらの素子の作製方法は以下の通りである。

【0048】実施例1においては、発光層114には、青色ホストであるピレンアダマンタン誘導体に橙色の色素であるジビニルキノリンを低濃度にドーピングして白色発光層とした。実施例1において、それぞれ独立した共振波長(基本波長)は青色 $\lambda_1=470\text{nm}$ 、橙色 $\lambda_2=580\text{nm}$ の2つに設定した。全反射ミラー101にAl電極、第1ハーフミラー層210に透明電極105を兼ねるITO、フィラー層202に SiO_2 、第2ハーフミラー層220に TiO_2 を用いた。

【0049】Al界面、ITO界面、 TiO_2 界面における反射光の位相のずれは全て π であることを考慮し、第1共振部はAl-ITO間でその共振長はミラーへの染み込み量などを考慮した光学距離で $\lambda_1/2$ 、第2共振部はAl- TiO_2 間でその共振長は光学距離で $2\lambda_2$ に設定した。ハーフミラー層210であるITO層、 TiO_2 層ともに、それらより屈折率の低い層に挟まれていることを考慮して、ITO層は光学膜厚 $\lambda_1/4$ の λ_1 選択反射単層ハーフミラー、 TiO_2 は光学膜厚 $3\lambda_2/4$ の λ_2 選択反射単層ハーフミラーとして設計した。

【0050】(誘電体層の成膜)光学研磨した7059ガラス(コーニング製)を有機アルカリ洗浄剤セミコクリーン56(フルウチ化学)、純水、アセトン、エタノール、純水の順で超音波洗浄後、90℃のクリーンオーブン中で乾燥させた。このガラス基板を高周波マグネトロンスパッタ装置にセットし、300℃に加熱した。 $3\times 10^{-6}\text{Torr}$ ($1\text{Torr}\approx 133\text{Pa}$)まで真空排気後、Ar-30% O_2 の混合ガスを導入して $3\times 10^{-3}\text{Torr}$ のガス圧で TiO_2 と SiO_2 をスパッタ成膜した。 TiO_2 膜は、 TiO_2 の焼結体ターゲットを用い堆積速度 $1.1\text{nm}/\text{min}$ で188.3nm、 SiO_2 膜は、石英ガラスをターゲットをとして用い堆積速度 $2.7\text{nm}/\text{min}$ で553.1nm成膜した。

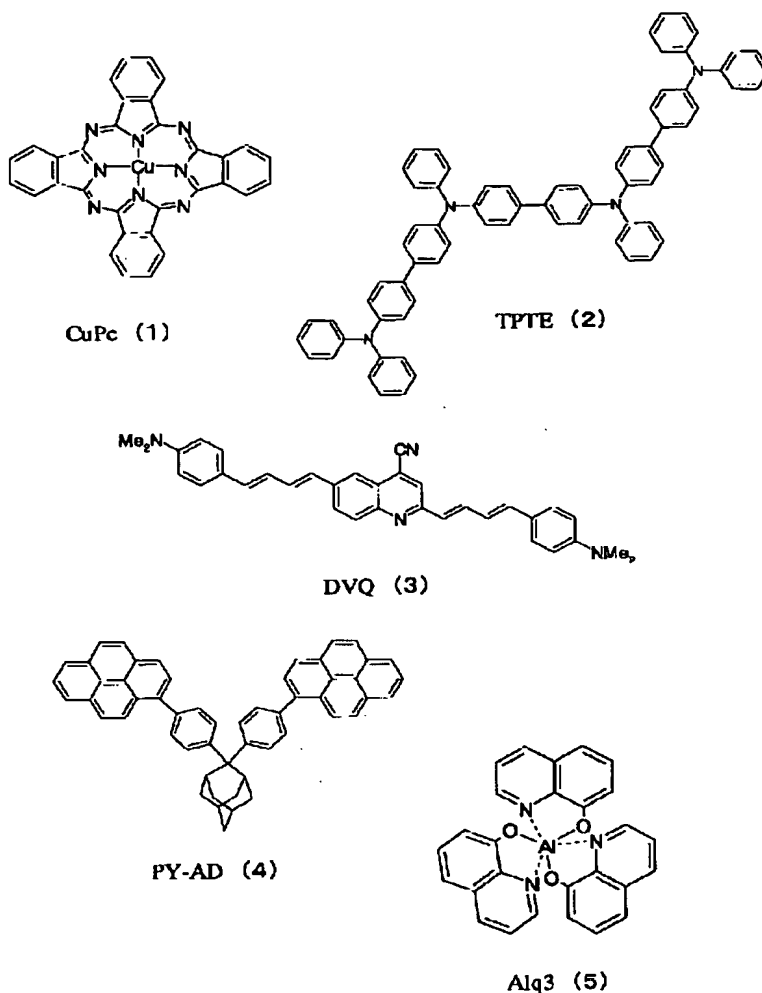
【0051】この後、陽極電極パターンが加工されているステンレスマスクを $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 膜に取り付け、ITO焼結体(5wt%- SnO_2)ターゲットを用い、Ar+1% O_2 ガスを $3\times 10^{-3}\text{Torr}$ まで導入して、堆積速度 $9\text{nm}/\text{min}$ で63.8nmの厚さにスパッタ成膜した。

【0052】この他に、比較例1用、比較例2用として、ガラス基板上に、 TiO_2 と SiO_2 膜を形成することなく、直接有機EL素子の陽極としてのITO電極105が63.8nm成膜(比較例1)されたものと、一般的な有機EL素子で採用される150nmの厚さの陽極としてのITO電極105も形成した。

【0053】(有機EL素子の素子層の成膜)実施例1に係る TiO_2 (188.3nm)/ SiO_2 (553.1nm)/ITO(63.8nm)が基板側からこの順に積層されたガラス基板と、比較例1に係るITO(63.8nm)の形成されたガラス基板に対し、そのITO表面の有機汚染物質を除去するために、UVオゾン処理を行ない、すばやく有機電界発光素子作製装置にセットした。前処理室で、アルゴンと酸素の混合ガスでプラズマ処理を行ない、ITO基板をクリーニングした。

【0054】次に、 $5\times 10^{-7}\text{Torr}$ 以下の真空中で有機膜用のマスクを装着後、カーボンるつぽを加熱して、銅フタロシアニン(CuPc :化学式(1))を15nm、トリフェニルアミンの4量体(TPTE:化学式(2))を47.6nm、ジビニルキノリン(DVQ:化学式(3))を0.35%ドーピングしたピレン-アダマンタン誘導体(PY-AD:化学式(4))の発光層を20nm、キノリノールアルミ錯体(Alq_3 :化学式(5))を59.1nmの順で成膜した。各層の成膜レートは、4~6nm/minであった。用いた化合物の構造は、

【化1】



に示す通りである。

【0055】さらに、真空中でマスクを陰極電極用に換え、LiFをWフィラメントから3nm/min、AlをPBNルツボから10nm/minの堆積速度で、それぞれ、0.5nmと150nm成膜した。各膜の成膜は、 3×10^{-7} Torr以下で行った。素子作製後、露点が60℃以下の乾燥窒素雰囲気中で、ステンレスキャップを紫外線硬化樹脂で接着した。このような工程を経て、実施例1と比較例1の素子を作製した。

【0056】比較例2の素子も膜厚が異なるだけで上記と同様の工程で素子を作製した。ガラス基板上に膜厚150nmのITO電極を形成し、このITO電極上に、銅フタロシアニン(化学式(1))を15nm、トリフェニルアミンの4量体(化学式(2))を45nm、ジビニルキノリン(化学式(3))を0.35%ドープしたピレン-アダマンタン誘導体(化学式(4))を20nm、アルミキノリノール錯体(化学式(5))を40nm、LiFを0.5nm、Alを150nm順に積層して素子を作製した。

【0057】[特性評価] 上述の方法で作製した有機電

界発光素子について、注入電流密度と発光輝度、スペクトルの角度依存性、色度座標の角度依存性、放射パターンを測定した。

【0058】図4に発光面正面(0°)でのスペクトルを示す。比較例1と比較例2の素子の発光は、青色と橙色に弱いピークがあり、非常にブロードなスペクトルな白色である。これに対して、実施例1の素子では、485nmと569nmの二つの波長にシャープなピークがある白色発光であり、その強度は、比較例1と2の素子に比べて非常に強いことがわかる。即ち、発光層に用いた発光材料は同一であるが、本実施例1のような光共振型有機EL素子では、比較例1及び2と異なり、2つの波長で発光が増強されている。

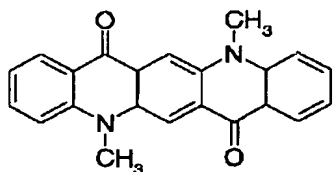
【0059】正面での発光輝度を図5に示す。比較例1の素子は、素子中の発光が正面方向に効率よく取り出されるような膜厚構成をとっているため、比較例2の素子に比べて高輝度である。しかし、実施例1の素子では、2波長の成分を増強して、正面方向により効率よく光を取り出すような膜厚の構成であるため、発光輝度は比較例1よりもさらに高い。11mA/cm²駆動時の電流

効率は、実施例1では 12.5 cd/A 、比較例1では、 11.4 cd/m^2 、比較例2では、 8.1 cd/A である。実施例1の効率は、比較例2の素子に比べて1.5倍程度の効率であった。

【0060】図6に実施例1、図7に比較例1のスペクトルの角度依存性をそれぞれ示す。図7に示すように比較例1の素子では、観察角度が大きくなると（ガラス基板の法線方向を 0° とした時のそこからの角度）、スペクトルの形は変わらず強度が低下する。これに対して、実施例1では、正面（ 0° ）の位置での 485 nm と 569 nm のピークは、角度が大きくなるに従い短波長側にシフトする。このとき、図2において説明したように色度座標上では、 485 nm の青緑色が青から深青色に移動し、 569 nm の橙色が黄色から緑色に移動するため、合成した色は、白色のままである。図8に、色度の角度依存性をしているが、実施例1の素子では、若干色ずれがあるもののどの角度でも白色の領域に色度があることがわかる。ここで、図8において、比較例1及び比較例2については、共振器構造を備えていないので、色度の角度依存性が小さいことが分かる。しかし、従来知られた単一波長を増強する光共振型有機EL素子では、図8において比較例3として示したように角度依存性が非常に大きいことが分かる。

【0061】比較例3の共振型有機EL素子は、ガラス基板上に誘電体ミラーが形成され、その上に緑色の発光を示す有機EL素子が形成されている。誘電体ミラーは、 SiO_2 、 TiO_2 の積層膜が採用され、 SiO_2 と、 TiO_2 の積層の組み合わせを3回繰り返した構成である。具体的には、ガラス基板上に、 $[\text{SiO}_2 (107 \text{ nm})、\text{TiO}_2 (65 \text{ nm})] \times 3 / \text{SiO}_2 (10 \text{ nm}) / \text{ITO} (142 \text{ nm}) / \text{CuPC} (10 \text{ nm}) / \text{TPTE} (190 \text{ nm}) / \text{Alq}$ にDMQdを1%ドーブ/ $\text{Alq}_3 (60 \text{ nm}) / \text{LiF} (0.5 \text{ nm}) / \text{Al} (150 \text{ nm})$ が順に積層された構造である。なお、発光層へのドーブ材料であるDMQd（ジメチル化キナクリドン）は、下記化学式（6）

【化2】



DMQd (6)

に示すとおりである。

【0062】以上のように本実施例1では共振器構造を採用しているものの、素子全体として得られる加色光の色度の角度依存性が共振器構造を採用した比較例3と比較して極めて小さく、そしてここでは、目標値に近い白色発光を実現できていることが分かる。

【0063】図9に、素子の放射パターンを示す。実線で $\cos \theta$ 分布を示している。比較例1、2は、ともにほぼ $\cos \theta$ 分布と一致している。実施例1の素子では、比較例1、2よりも分布が内側に存在しており、やや正面に指向性があることが分かるが、 $\cos \theta$ 分布に近い放射パターンを示しており、視野角の制限が少ないことが分かる。

【0064】

【発明の効果】以上説明したように、この発明に係る光共振器では、複数の任意の基本波長を増強することができる。従って、例えば、このような構造を採用した光共振型有機EL素子においては、白色や紫色などの発光を、任意に設定した基本波長の合成により実現できる。従って、材料本来の発光色を改変及び微調整し、白色や紫色などの発光色を持つ有機電界発光素子を実現できる。例えば幅広い発光スペクトルを持つ例えば緑色の発光材料などのスペクトルを改変し、白色の素子にすることも可能である。また、これらの色を高輝度で得ることができる。

【0065】さらに、複数の基本波長を増強する構成であるため、単一波長に共振して増強する光共振器と異なり、発光光の色度の角度依存性を非常に低く抑えることができ、どの角度からも目的とする色の光を射出することが可能である。

【0066】一方で、共振構造を有するので、発光の指向性のある白色や紫色の有機電界発光素子の実現も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態に係る光共振型有機EL素子の断面構造の一例を示す図である。

【図2】 本発明の光共振型有機EL素子の色度のずれの原理を説明する図である。

【図3】 実施例1、比較例1及び2に係る有機EL素子の概略断面構造を示す図である。

【図4】 実施例1、比較例1及び2に係る有機EL素子の発光面正面におけるELスペクトルを示す図である。

【図5】 実施例1、比較例1及び2に係る有機EL素子の発光面正面における発光輝度を示す図である。

【図6】 実施例1に係る有機EL素子のELスペクトルの角度依存性を示す図である。

【図7】 比較例1に係る有機EL素子のELスペクトルの角度依存性を示す図である。

【図8】 実施例1、比較例1～3に係る有機EL素子の色度の角度依存性を示す図である。

【図9】 実施例1、比較例1及び2に係る有機EL素子の放射パターンを示す図である。

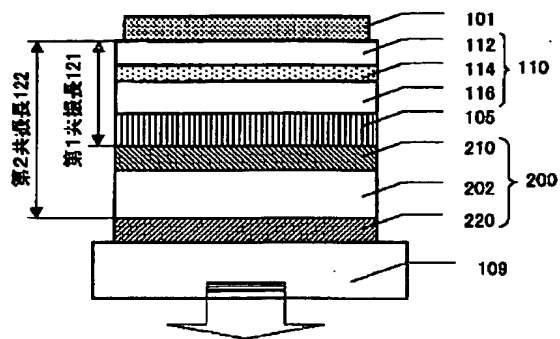
【符号の説明】

101 全反射ミラー（金属電極：陰極）、105 透明電極（ITO電極：陽極）、110 有機層、112

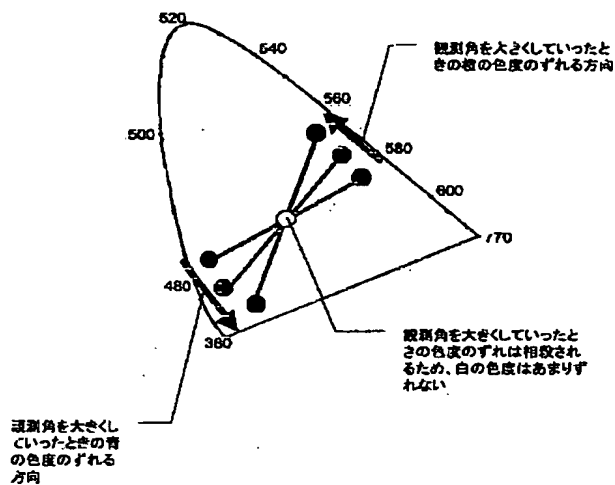
電子輸送層、114 発光層、116 正孔輸送層、
121 第1共振長（基本波長）、122 第2共振長

（基本波長）、202 フィラー層、210 第1ハーフミラー層、220 第2ハーフミラー層。

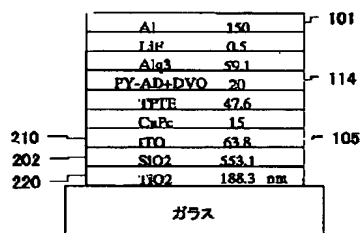
【図1】



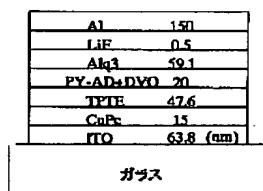
【図2】



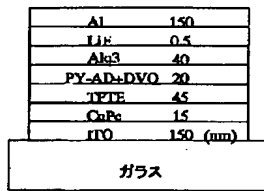
【図3】



(a) 実施例1の素子構造

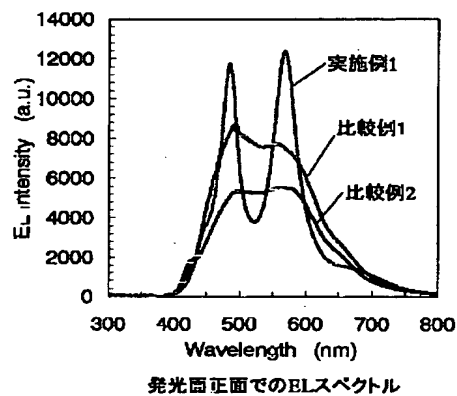


(b) 比較例1の素子構造

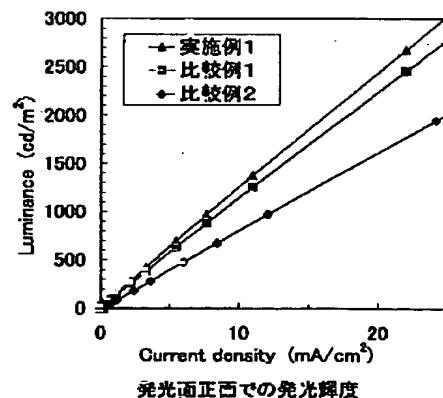


(c) 比較例2の素子構造

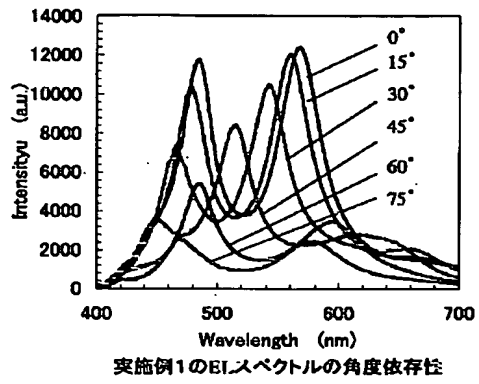
【図4】



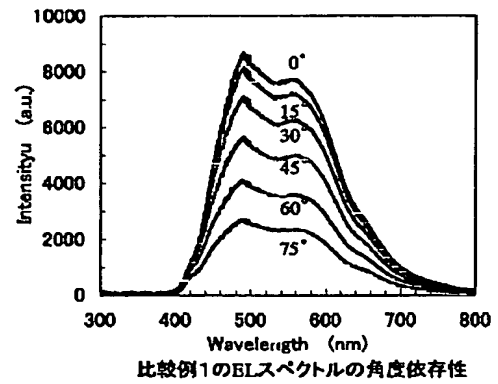
【図5】



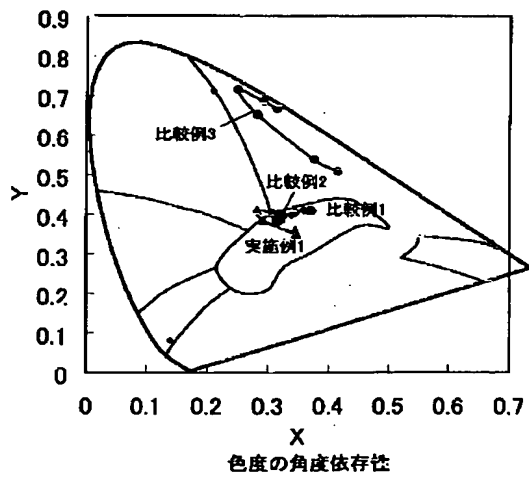
【図6】



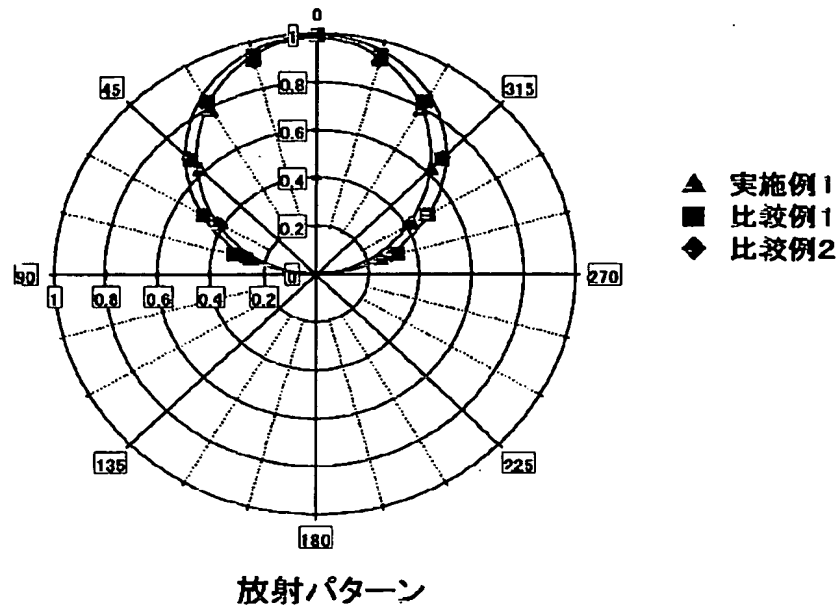
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 多賀 康訓
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

Fターム(参考) 2H048 GA04 GA13 GA33 GA48
3K007 AB04 BB06 DB03